

広域分布型流出予測システムを用いた淀川流域における ダム群治水効果の分析

佐山敬洋・菅野浩樹*・立川康人・寶 馨

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

ダム群流況制御の効果を考慮する広域分布型流出予測システムを用いて、淀川流域内の各地点におけるダム群の治水効果を分析する。分析に用いる入力降雨は、各地点上流域で観測された複数の降雨分布を引き伸ばして作成する。全ての降雨を入力し、既存のダム群を考慮する場合としない場合とでそれぞれ流出計算を行い、ピーク流量の比較検討を行う。その結果、ダムが流域の中流部に位置する加茂の地点では、自然流量のピークがある範囲内にあるときにダム群のピーク低減効果が最も有効に発揮され、ピーク流量が計画高水流量程度にまで低減されることがわかった。また、ダムが流域の上流部に位置する納所の地点では、自然流量に関わらずほぼ一定量でピーク流量が低減されることがわかった。

キーワード：分布型流出モデル，淀川流域，ダム，治水効果

1. はじめに

わが国の主要な河川の多くでは、多目的ダム群が河川の流況を制御し非常に複雑な流域水循環を形成している。こうした人間活動の影響を受ける流域においては、現在行われている流況制御の影響を考慮したうえで、河川計画を策定する必要がある。

本論で着目する治水事業に特化して言えば、既存する多目的ダム群の治水効果を考慮し、現在の流域治水安全度を定量的に評価したうえで、さらなる安全性の向上を目指すのか、あるいは、被害の軽減を目指してソフト対策に転じるのか、などの政策決定を行う必要がある。

著者らはこうした問題に対応するため、これまで淀川流域を対象としてダム群による流況制御の効果を考慮する広域分布型流出予測システムを開発してきた。このシステムは多目的ダム群の流況制御過程を再現したダムモデルと詳細な地形効果を考慮する

分布型流出モデルとを統合したシステムであり、いくつかの洪水イベントを対象にその再現性を確認している(佐山ら, 2004)。

ダム群の治水効果を定量評価する試みとしては、観測降雨を引き伸ばして流出予測システムに入力し、ダム群の有無によるピーク流量の違いを比較している。これにより、ダムの開発に伴ってどのように治水安全度が向上してきたかを示した。また、ダムが群として機能することにより、単体で機能する場合と比べてピーク流量低減に対して相乗的な効果が生まれることを示した。

しかし、上記の研究で対象とした地点は流域下流の枚方一地点であり、上流の地点でダム群の配置や規模が異なる場合にその治水効果がどのように現れるかを評価していない。また、ひとつの観測降雨イベントしか取り扱っておらず、複数の降雨の時空間分布を用いた検討を行っていない。

そこで、本論はより詳細なダム群治水効果の評価

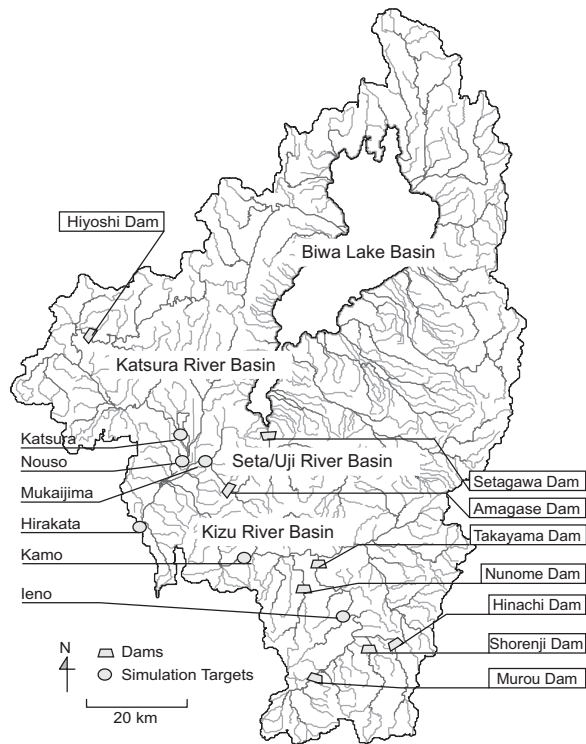


Fig. 1 Yodo River basin with the location of dams and analysis target points.

を行うため、複数の降雨イベントを用いて複数の地点を対象に、ダム群治水効果の分析を行う。とくに上流に位置するダム群の規模と配置の違いが、ダム群の治水効果にどのように影響を及ぼすかについて検討する。

2. 淀川流域の概要

淀川流域 (8,240km²) は、大阪、京都、兵庫、奈良、滋賀、三重の近畿2府4県に広がり、国内最大の琵琶湖 (湖面面積: 670km²) が流域内に存在する。流域は琵琶湖流域 (3,848km²)、木津川流域 (1,596km²)、宇治川流域 (506km²)、桂川流域 (1,100km²)、淀川下流流域 (807km²)、猪名川流域 (383km²) の6つの流域で構成される。琵琶湖からの流出はその下流で宇治川と名前を変える瀬田川に流入し、淀の地点で木津川、桂川と合流する。この地点を三川合流と呼び、その下流が淀川本川となる。本研究で使用する流出予測システムの下流端である枚方地点は淀川本川に位置し、上流域の面積は7,281km²である (猪名川流域と淀川下流域の一部は含まれない) (Fig. 1)。

淀川流域は主要な8基のダムによって高度に流況が制御されている。そのうち、高山ダム、青蓮寺ダム、布目ダム、室生ダム、比奈知ダムの5基のダム

は木津川流域に存在する。琵琶湖からの流出は瀬田川洗堰で制御され、さらに下流の天瀬ダムで制御される。桂川流域には日吉ダムが存在し、これらの淀川流域のダムは統合的に管理されている (Table 1)。

3. 広域分布型流出予測システム

3.1 全体システムの構成

詳細な地形情報にもとづく分布型の流出モデルを7000 km²を超える淀川流域全域を対象に開発し、ダムと湖沼のモデルを統合する。こうした大型のシステムは、構造的モデリングシステム (高棹ら, 1995) にもとづき、全体のシステムを個々の要素モデルの集合として構成しておく、モデルの改良など保守性に優れたシステムを開発するうえで都合がよい。本論で利用する淀川流域の流出予測システムは以下の4種類の要素モデルで構成する。

- 河道要素モデル
- 部分流域要素モデル
- 湖沼要素モデル
- ダム要素モデル

流出予測システムは以下のような方法で構築している。

1. 国土数値情報の河道データと湖沼データを接続することにより湖岸線を含む河道網データを作成する。
2. 河道網を約3 km毎に分割して河道区分データセットを作成する。
3. 河道区分にキネマティックウェーブモデルを適用して河道要素モデルを構築する。
4. 標高データから落水方向を決定し、約3kmごとに分割した河道区分に流入する部分流域を抽出する (市川ら, 2001)。
5. 部分流域のデータセットは勾配、落水方向、面積の情報をもつ矩形斜面の集合であり、それぞれの矩形斜面に不飽和・飽和中間流・表面流モデル (立川ら, 2004) を適用して、分布型の部分流域要素モデルを構築する。
6. 流入量、降雨量、放流量から琵琶湖の水位変化を算定する湖沼要素モデルを構築する。なお、琵琶湖からの放流量は、ダム流況制御モデルを瀬田川洗堰に適用した瀬田川洗堰のダム要素モデルによって算定する。
7. 淀川流域内の主要8基のダムを対象に、ダム流況制御モデルを適用し、ダム要素モデルを構築する。
8. これらすべての要素モデルを接続して、流域全

Table 1 Properties of dams located in the Yodo River basin.

Dam	Operation start [year]	Catchment area [km ²]	Total volume [10 ⁶ m ³]	Flood cont. * capacity [10 ⁶ m ³]	Flood cont. method	Pre-release
Setagawa	1905 **	3848	-	2221 ***	Constant	No
Amagase	1964	4200	26.3	20.0	Constant	Yes
Takayama	1969	615	56.8	35.4	Fixed disc. rate	No ****
Shorenji	1970	100	27.2	8.4	Constant	Yes
Murou	1974	169	16.9	7.8	Constant	Yes
Nunome	1992	75	17.3	6.4	Fixed disc. rate	No
Hiyoshi	1998	290	66.0	42.0	Constant	No
Hinachi	1999	76	20.8	9.0	Constant	No

* Capacity from Limited Water Level to Surcharge Water Level

** Nango dam is completed in 1905. Current Setagawa dam is completed in 1961.

*** Capacity of Biwa Lake from standard water level (-0.30 m) to designed high water level (1.40 m)

**** Pre-release can be conducted in non-flood season

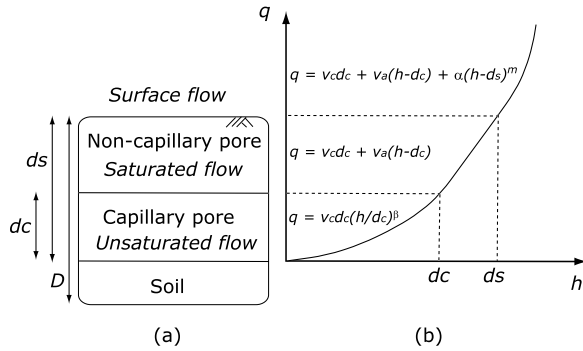


Fig. 2 Schematic diagram of the soil layer (a) and stage-discharge relationship (b) of saturated-unsaturated subsurface and surface rainfall-runoff model.

体の流出予測システムを構築する。

個々の要素モデルについては既に文献 (佐山ら, 2004) に示しており, ここではその詳細を省略する。ただし, この流出予測システムを特徴づける不飽和・飽和中間流・表面流モデルとダム流況制御モデルについてはその概要を以下に示す。

3.2 不飽和・飽和中間流・表面流モデル

空間分解能 250 m の矩形斜面に適用する不飽和・飽和中間流・表面流モデル (立川ら, 2004) は, 土壌中のマトリクス部を流れる不飽和流, 土壌中の空隙部を重力水として流れる飽和中間流, そして地表

を流れる表面流の三種類の流れを考慮する。土層厚を D [m], 土壌中の水分量に対応する水深高さを d_s [m], マトリクス部の最大水分量に対応する水深高さを d_c [m] とする (Fig. 2)。また, k_c をマトリクス部の飽和透水係数 [m/s], k_a を大空隙での飽和透水係数 [m/s] とし, $v_c = k_c i$, $v_a = k_a i$ として, 単位幅流量 q [m²/s] と水深 h [m] の関係を

$$q = \begin{cases} v_c d_c \left(\frac{h}{d_c}\right)^\beta, & (0 \leq h \leq d_c) \\ v_c d_c + v_a (h - d_c), & (d_c < h \leq d_s) \\ v_c d_c + v_a (h - d_c) + \alpha (h - d_s)^m, & (d_s < h) \end{cases} \quad (1)$$

とモデル化する。ここに, β [-] はマトリクス部において含水率の減少に伴う透水係数の減少の大きさを表すパラメタである。マトリクス部と大空隙部の流量流積関係の連続性から $\beta = k_a/k_c$ とする。この式で表される q と h の関係を Fig. 2 (b) に示す。また, 伝播速度 c [m/s] は,

$$c = \frac{\partial q}{\partial h} = \begin{cases} \beta v_c \left(\frac{h}{d_c}\right)^{\beta-1}, & (0 \leq h \leq d_c) \\ v_a, & (d_c < h \leq d_s) \\ m\alpha (h - d_s)^{m-1} + v_a, & (d_s < h) \end{cases} \quad (2)$$

となる。これらの関係式と連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r(t) \quad (3)$$

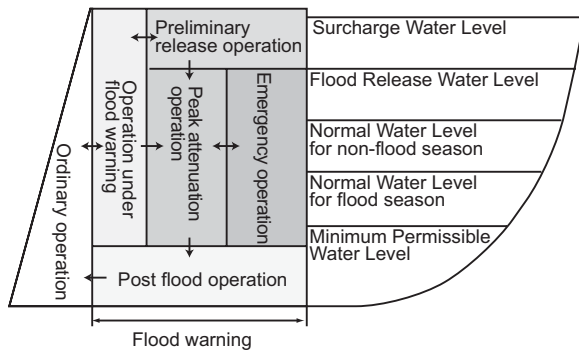


Fig. 3 Operation statuses and specified water levels of dam operations model.

とを組み合わせることで矩形斜面からの降雨流出を計算する。なお、式 (3) において $r(t)$ は降雨強度 [m/s] である。

本論で使用する流出モデルのパラメータは 1982 年の洪水イベントを対象に同定したものとする (佐山ら, 2004)。土地利用ごとに異なるパラメータを使用しており、森林域において $n = 0.6 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, $D = 1.0 \text{ m}$, $d_s = 0.2 \text{ m}$, $d_c = 0.1 \text{ m}$, $k_a = 0.01 \text{ m/s}$, $\beta = 8.0$, 農地域において $n = 1.0 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, 都市域において $n = 0.3 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ である。農地域と都市域は土層を考慮せず式 (1) の d_c と d_s をゼロとした表面流モデルを用いる。

3.3 ダム流況制御モデル

ダムの操作規定と意思決定を定式化することにより、ダムによる流況制御の過程をモデル化する。モデルの入力情報は、ダムへの流入量、ダム上流域の平均降雨量、および、連携操作の対象となるダムの操作過程であり、モデルの予測情報はダムからの放流量とダム貯水池の水位である。

本論で対象とする淀川流域の主要な 8 基のダムは、すべて洪水制御をその目的の一つとする多目的ダムである。それぞれは異なった操作規定に従って運用されているが、以下に示す 6 段階の操作過程は洪水制御を目的としたダムに共通した操作過程であり、一般化することができる (市川ら, 1999)。

- 通常時の操作
- 洪水警戒体制中の操作
- 予備放流操作
- 洪水調節操作
- ただし書き操作
- 洪水調節後の操作

それぞれのダムの操作は常に上の 6 段階の操作過

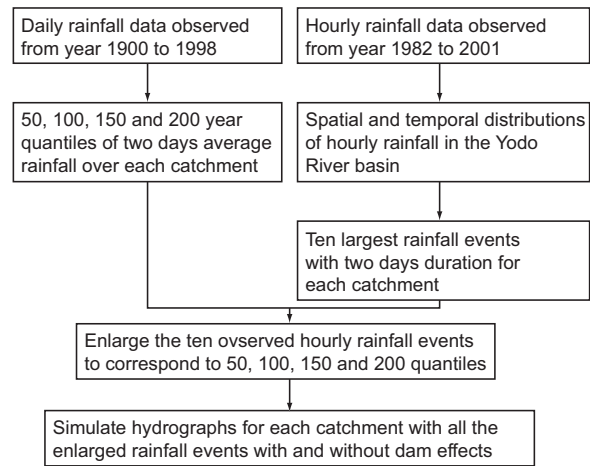


Fig. 4 Flow of analysis.

程のいずれかにあり、各操作過程にある場合の操作方法と、ある操作過程から別の操作過程に移行する条件を if-then 形式で定式化する。Fig. 3 はダム流況制御モデルの操作過程と移行の順序、および操作規定で定められた水位を示している。一部のダムは予備放流を行わないが、その場合は予備放流操作過程に入らないよう条件を加える。操作規定に明記される各操作過程の操作方針とそのモデル化手法、およびその過程へ移行する条件のモデル化手法については文献 (佐山ら, 2004) を参照のこと。

ダム流況制御モデルのパラメータのほとんどは操作規則より決定することができる。一部の同定が必要であるパラメータに関しては、1982 年の洪水イベントを対象に同定したものを使用する。また、モデルの初期水位は操作規則で定められた制限水位とする。

4. ダム群治水効果の分析手法

4.1 概要

異なる確率規模の降雨を流出予測システムに入力し、現存するダム群を計算に考慮しない場合の流量 (以降、自然流量と呼ぶ) とダム群を計算に考慮する場合の流量 (以降、制御流量と呼ぶ) を計算する。これらの流量ピークを比較することによってダム群の治水効果を分析する。まず、Fig. 4 の左上に示すように、より長期間の観測データが得られる日雨量を用いて各対象地点の上流域における T 年確率降雨量を求める。つぎに、Fig. 4 の右上に示すように、過去 20 年間に地上雨量計で観測された時間雨量を最近隣法で空間分布させ、各対象地点でそれぞれ 10

Table 2 Best distributions, Goodness-of-fit, and T -year two days rainfall.

Target catchments	Area [km ³]	Probability distribution	Goodness-of-fit		T -year quantiles [mm]			
			SLSC	COR	50	100	150	200
Hirakata	7281	Gumbel	0.019	0.996	237	261	275	285
Kamo	1469	Gumbel	0.018	0.996	285	316	334	347
Nouso	1114	Gumbel	0.025	0.993	264	292	308	320
Katsura	833	GEV	0.021	0.991	301	350	382	406
Mukaijima	4153	Gumbel	0.027	0.991	245	270	284	294
Ieno	475	Gumbel	0.028	0.991	362	402	425	442

パターンの降雨時空間分布を得る。この降雨時空間分布を 50 年, 100 年, 150 年, 200 年のリターンピリオドに相当するように引き伸ばし, これらを入力降雨とする。

4.2 水文頻度解析

(1) 使用データ

流域平均二日雨量の確率降雨量の計算には, 1900 年から 1998 年の 99 年間に淀川流域内で観測された国土交通省 (建設省), 気象台, アメダスの日雨量データを用いる。まず地点雨量を最近隣法で空間分布させ, 99 年間分の流域平均日雨量系列を得る。つぎに, この系列をもとに年最大二日雨量を計算し, 以下に示す方法で水文頻度解析を実行する。なお, 本論では流域平均二日雨量を基準に生起確率を計算しているが, 期間を二日間とするのは淀川水系工実施基本計画 (建設省近畿地方建設局, 1974) において枚方, 加茂, 羽束師, 天ヶ瀬の地点がいずれも二日間の計画雨量を用いていることによる。

(2) 水文頻度解析モデル

水文頻度解析には (財) 国土技術研究センターで開発されたソフトウェアである水文統計ユーティリティ (笠崎, 2001) を用いた。このソフトウェアを用いれば様々な確率分布モデルで確率水量を計算できるほか, 標準最小二乗基準 SLSC (高棹ら, 1986) や相関係数 COR などの指標による適合度の計算が可能となる。

本論では極値理論に基づく Gumbel 分布と GEV 分布を基本的な水文解析モデルとし, Gumbel 分布と GEV 分布がともに SLSC 0.03 以下, COR 0.99 以上の場合にはより適合度の高い方を, どちらか一方のモデルのみがこの基準を満たしている場合は適合しているモデルを選択した (寶, 1998)。もし, Gumbel 分布と GEV 分布の両方がこの基準を満た

してければその他の最も適合のよいモデルを選択するという方針で水文頻度解析モデルを選択した。なお, 確率紙へのプロットにはカナンの式を用いた。

上述の基準で水文頻度解析を実行した結果, 対象地点 6 地点のうち桂地点以外の地点では Gumbel 分布を, 桂地点では GEV 分布を採用することとなった。適合度指標の値と確率雨量は Table 2 に示すとおりである。

4.3 入力降雨の作成

ダム群治水効果の分析を行うための入力降雨は, 過去 20 年間 (1982 年 ~ 2001 年) に淀川流域内で観測された時間雨量をもとに作成した。まず, 国土交通省 (建設省), 気象台, アメダスの時間雨量データを最近隣法で空間分布させ, 空間分解能 1.5 km, 時間分解能 1 時間の降雨時空間分布を淀川流域全域で作成する。つぎに各対象地点上流域の流域平均雨量の時系列を計算し, それぞれの年で流域平均雨量が最大となる 48 時間を抽出する。そのなかから 48 時間降雨量の多い順に 10 降雨イベント抽出し, これを引き伸ばすもとの降雨イベントとする。ここで, 上位 10 イベントを採用した理由は, 10 イベントでおおよその時空間パターンをカバーできていること, それ以上選択しても引き伸ばし率が大きくなりすぎて非現実的な入力降雨を作成することになることである。

対象地点ごとに選択した 10 個の降雨イベントを流域平均二日雨量のリターンピリオドが 50 年, 100 年, 150 年, 200 年に相当するように引き伸ばしを行う。こうして得られた計 40 個の降雨時空間分布を流出予測システムに入力する。

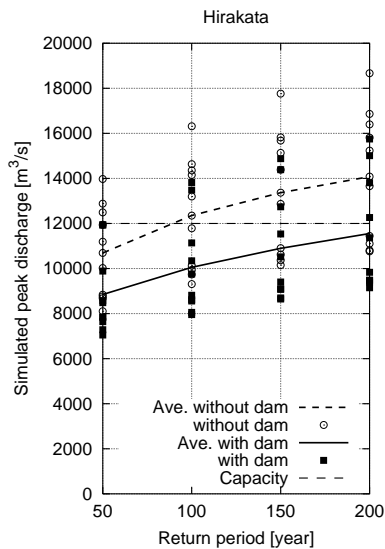


Fig. 5 Return periods of two days rainfall and simulated peak discharge without and with dams at Hirakata.

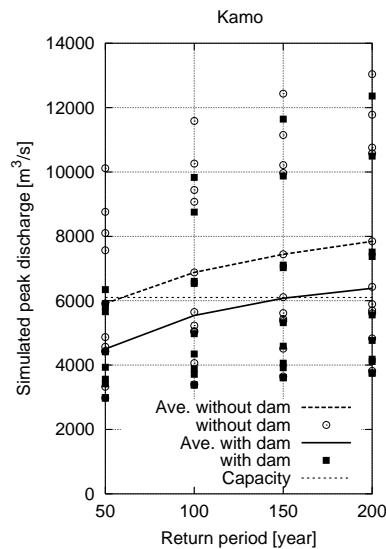


Fig. 6 Return periods of two days rainfall and simulated peak discharge without and with dams at Kamo.

5. 結果と考察

5.1 流域平均二日雨量とダム群治水効果の関係

淀川流域内の主要な計画対象地点である枚方, 加茂, 納所, 桂, 向島, 家野の6地点を対象に数値実験を実行し, ダム群がもたらすピーク流量の低減効果を分析する。

Fig. 5 は流域下流の枚方地点における分析結果であり, 横軸に流域平均二日雨量のリターンピリオドを, 縦軸に流出予測システムで計算したピーク流量をとる。丸印は現存するダム群の効果を計算に考慮しない場合, 四角印は現存するダム群を計算に考慮する場合の結果である。同じリターンピリオドでそれぞれ10個の計算結果があるのは, 10個の降雨イベントを引き伸ばして入力降雨を作成し, これらの全てを用いて流出計算を行ったためである。また, 図中の点線と実線はダム群を考慮しない場合とする場合の計算ピーク流量の平均であり, この2本の線の差が平均的なダム群のピーク流量低減効果を表している。

ピーク流量の平均値と枚方地点の計画高水流量 $12,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を比較すると, 上流のダム群がなければリターンピリオドが100年の降雨で計画高水流量を超過してしまうのに対し, ダム群が治水効果を発揮することによりリターンピリオドが200年の降雨でも計画高水流量を超過しないようになることがわかる。ただし, 流域平均二日雨量が同じであっても降雨の時空間分布によってピーク流量が大きく異なる

るので, 例えば200年のリターンピリオドの降雨では, ダム群が機能しても10回中4回は計画高水流量を超過していることに注意する。

Fig. 6 は同様の分析を加茂地点を対象に行った場合の結果である。枚方地点と同様, ダム群がピーク流量を低減していることは明らかであるが, 同じリターンピリオドの降雨に対するピーク流量は, ダム群を考慮しない場合とする場合のいずれの場合も, それぞれ大きくばらついている。これは加茂地点の流域面積が 1469 km^2 と枚方地点の 7281 km^2 に比べて小さく, ピーク流量が二日間より短期間の降雨量に依存するためであると考えられる。本論で行う数値実験は流域平均二日雨量を基準にして引き伸ばしを行っているが, これは淀川流域の治水計画がいずれの地点でも二日雨量を基準にしているためである。しかし, 上流地点の治水安全度を評価するためには二日雨量の確率降雨量を基準にするのは必ずしも妥当ではない。

5.2 自然流量とダム群治水効果の関係

上述の通り, 流域平均二日雨量が同じでも降雨の時空間分布によってピーク流量は大きく異なり, それにともなってダム群の治水効果も異なる。ここでは, ダム群を考慮しない場合の流量(自然流量)とダム群を考慮する場合の流量(制御流量)のピーク流量を比較することにより, 自然流量の規模に応じたダム群治水効果を調べる。

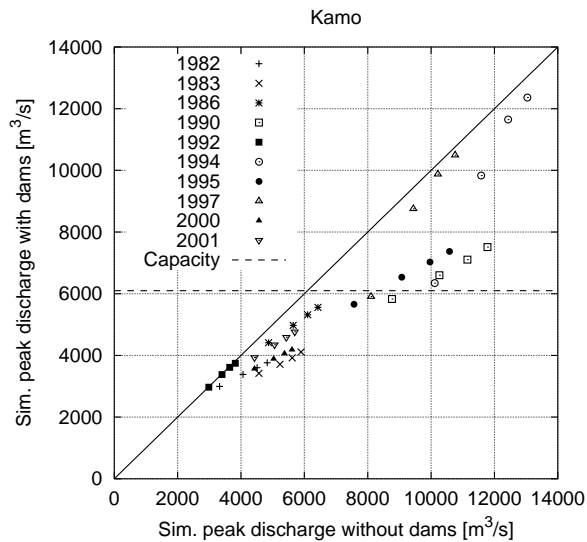


Fig. 7 Simulated peak discharge at Kamo without dams (x-axis) and with dams (y-axis).

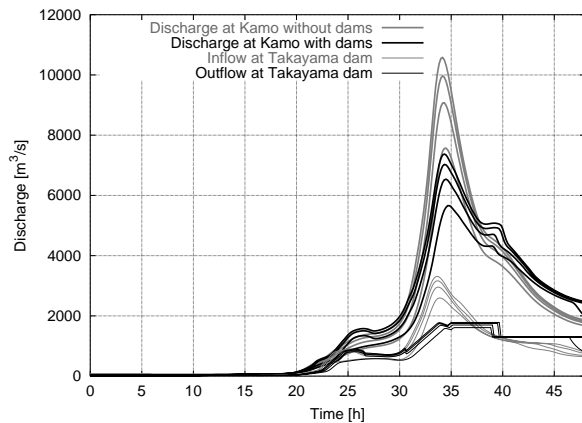


Fig. 8 Simulated discharge at Kamo without / with dams and simulated inflow / outflow at Takayama dam; Input data is enlarged based on rainfall events in 1995.

(1) 加茂地点

Fig. 7 は、加茂地点を対象に、横軸に自然流量のピーク流量を、縦軸に制御流量のピーク流量をとり、計算結果を表示したものである。図中に示した 1:1 の直線上にプロットがある場合は、自然流量と制御流量のピーク流量が同じであることを意味し、ダム群の治水効果が無い。一方、この直線から下側にプロットがずれる場合はその差分だけダム群のピーク流量低減効果がある。Fig. 7 より以下のことがわかる。

1. ダム群治水効果が有効に機能する自然流量の範囲が存在する。加茂の地点では自然流量のピークが約 6000 m³/s から 9000 m³/s の範囲で最も有効にピーク流量の低減効果が現れる。この自然流量の区間を、ここではダム群有効自然流量区間と呼ぶことにする。

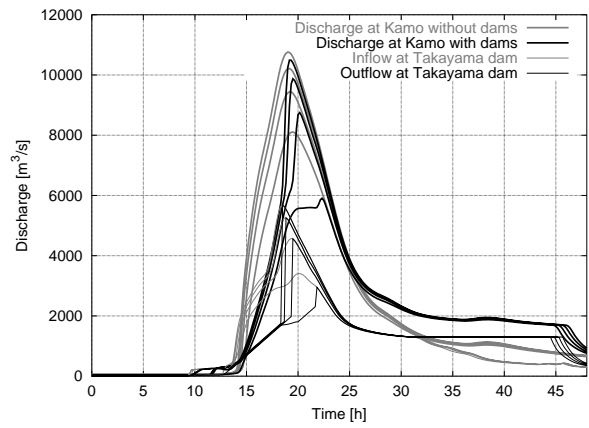


Fig. 9 Same as Fig. 8 but based on rainfall events in 1997.

クが約 6000 m³/s から 9000 m³/s の範囲で最も有効にピーク流量の低減効果が現れる。この自然流量の区間を、ここではダム群有効自然流量区間と呼ぶことにする。

2. ダム群有効自然流量区間の流量は、ほぼ計画高水流量にまで低減される。加茂の地点ではダム群有効自然流量区間のピーク流量は計画高水流量 6100 m³ 程度まで低減されている。
3. ダム群有効自然流量区間を超える自然流量が発生した場合は、ダム群はピーク流量低減効果を発揮しない場合がある。

上流のダム群が実際にどのように流量を低減しているかをより詳細に調べるため、1995 年と 1997 年の観測降雨を引き伸ばして流出計算を実行した結果を述べる。Fig. 8 は 1995 年の結果であり、加茂地点の自然流量と制御流量のハイドログラフ、および、加茂地点に最も影響の大きな高山ダムへの流入量と放流量のハイドログラフを示している。それぞれ 4 本のハイドログラフがあるのは、流域平均二日雨量のリターンペリオドが 50 年、100 年、150 年、200 年に相当するように引き伸ばして流出計算を行っているためである。高山ダムの流入量はリターンペリオドが長くなれば大きくなるのに対し、高山ダムからの放流量はいずれの場合もピーク流量が約 1800 m³/s でほとんど変わらない。加茂上流域における高山ダム流域の占める割合は 42 % (= 615 km² / 1469 km²) であり、その残流域からの流量に応じて自然流量は当然ばらつくことになるが、リターンペリオドの変化に伴う制御流量のピークの変動は、自然流量のピークの変動に比べて小さくなり、かつ、それは約 6000 m³/s となる。

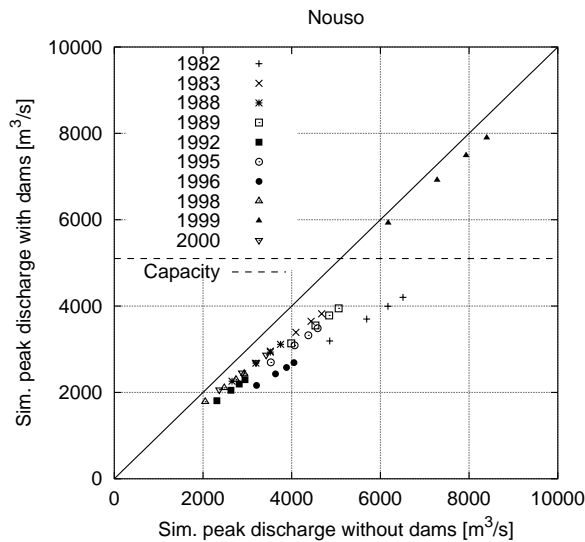


Fig. 10 Simulated peak discharge at Nouso without dams (x-axis) and with dams (y-axis).

Fig. 9 は 1997 年の観測降雨を引き伸ばして流出計算を実行した結果である。このケースは高山ダムへの流入量が多く、全てのリターンピリオドの入力降雨に対して高山ダムはただし書き操作を行う。そのため下流の加茂地点でもピーク低減効果がほとんど見られない。ただし、リターンピリオドが 50 年の場合は、高山ダムは流入量のピークを過ぎた後にただし書き操作を行っており、加茂地点では明確なピーク流量低減効果が現れている。そして、1995 年の場合と同様に、制御流量のピークは約 $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。このように、高山ダムがただし書き操作を行わないか、または、ただし書き操作をダムへの流入ピーク後に行うことでその放流量を $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度に抑えることができれば、加茂地点の流量は計画高水流量 $6100 \text{ m}^3/\text{s}$ を下回る。一方、高山ダムがただし書き操作を行い、そのゲート開放がダム流入量のピーク到達以前であれば、加茂地点のピーク流量はほぼ自然流量のピーク流量と等しくなり、計画高水流量を超過する危険な状況となる。

(2) 納所地点

上流域のダム群の配置と規模の違いが下流地点のダム群治水効果にどのように影響を及ぼすかを調べるため、桂川流域下流に位置する納所地点での分析結果を示す。納所地点の上流には日吉ダム 1 基が存在し、日吉ダムの集水面積が納所地点の流域面積に占める割合は 26 % である。一方、上述の加茂地点上流には高山ダムを含む計 5 基のダムが存在し、高山ダムの集水面積が加茂地点の流域面積に占める割

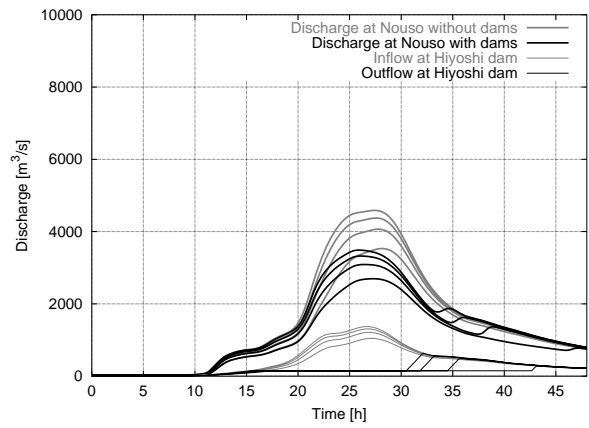


Fig. 11 Simulated discharge at Nouso without / with dams and simulated inflow / outflow at Hiyoshi dam; Input data is enlarged based on rainfall events in 1995.

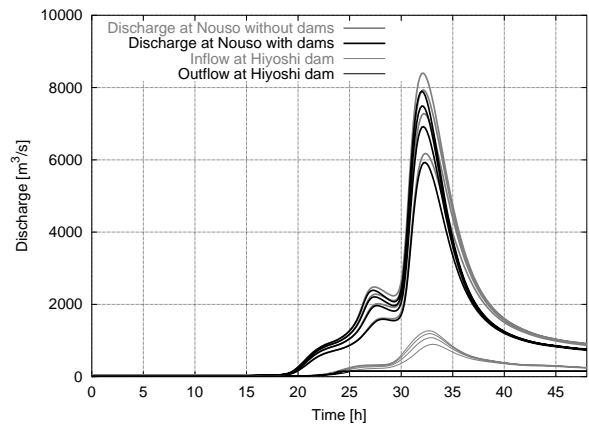


Fig. 12 Same as Fig. 11 but based on rainfall events in 1999.

合は 42 % と大きい。

Fig. 10 は納所地点における自然流量と制御流量のピークの比較である。1982 年のケースを除いては、ほぼ一様にピーク流量が低減し、その低減量は大きくても $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度と、加茂地点のピーク低減量に比べて小さい。この理由を検討するため、自然流量が中規模の 1995 年と自然流量が最大となる 1999 年の結果を示す。

Fig. 11 は 1995 年の観測降雨を引き伸ばして流出計算を行った場合の結果である。ダムへの流入量はリターンピリオドが 200 年の場合でも $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、日吉ダムの洪水流量である $150 \text{ m}^3/\text{s}$ に放流量を制御している。納所地点のピーク低減量は、日吉ダムにおける流入量と放流量のピーク差を大幅に上回ることはなく、全てのリターンピリオド

の場合で約 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ にとどまっている。日吉ダムは、ダムの貯水容量が大きいので放流量は高山ダムに比べて小さく抑えることができるが、ダムの集水面積が小さいためダムへの流入量のピークは洪水時でも $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、このことが日吉ダム下流地点でのピーク低減量を制限している。

Fig. 12 は自然流量がもっとも大きくなる 1998 年の結果である。自然流量と制御流量がともに大きくなるという点で Fig. 9 に示した加茂地点の 1997 年の結果と類似するが、Fig. 9 の場合は高山ダムがただし書き操作に入ったためにピーク低減量が小さいのに対し、Fig. 12 の場合は日吉ダムが放流量を完全に制御しているにもかかわらず、ダムへの流入量が小さいためにピーク低減量が小さくなっていることに留意する。

高山ダムのように集水面積が大きく洪水流量も大きいダムは、ただし書き操作を避けることができれば大きな治水効果を得る。一方、日吉ダムのように集水面積が比較的小さく洪水流量も小さいダムは、下流地点のピーク低減量はダムへの流入量に依存する。

6. おわりに

広域分布型流出予測システムを用いて、淀川流域の各地点におけるダム群の治水効果を分析した。各地点の上流域で観測された降雨の時空間分布を引き伸ばして入力降雨とし、ダム群の効果を考慮する場合としない場合とで流出計算を行い、そのピーク流量の比較検討を行った。以下に結論をまとめる。

1. 枚方地点において、10 パターンの入力降雨に対するピーク流量の平均値と計画高水流量とを比較した結果、ダム群が無ければリターンピリオドが 100 年の降雨で計画高水流量を超過するのにに対し、ダム群が存在すればリターンピリオドが 200 年の降雨でもそれを超過しないことがわかった。ただし、降雨の時空間分布によってピーク流量は大きくばらつき、その傾向は対象地点の流域面積が小さければより顕著となる。
2. 高山ダムが流域の中流部に位置する加茂地点において、自然流量が約 $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ から $9000 \text{ m}^3/\text{s}$ のときに上流のダム群が有効に治水効果を発揮し、ピーク流量を加茂地点の計画高水流量程度にまで低減する。自然流量がその範囲を超える大規模な洪水の場合には、高山ダムがただし書き操作を行い、ピーク低減効果を発揮しない場合がある。

3. 日吉ダムが流域の上流部に位置する納所地点において、ダムの集水面積が納所地点の流域面積に比して小さいため、ダム群のピーク低減量が制限されることがある。10 ケースの数値実験中 8 ケースはピーク前にただし書き操作を行っていないにもかかわらず、納所地点でのピーク低減量が $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下と小さい。

この分析の結果は、高山ダムのように集水面積と洪水流量の大きいダムにおいて、より高度な予測情報を用いたダムコントロールを行うことの有効性を示唆している。今後、降雨予測のリードタイムと流出予測の不確実性に応じた適切なダムコントロールについて検討を行う予定である。

謝辞

本研究で用いた雨量データ、流量データ、ダムの操作規則等は国土交通省近畿地方整備局より提供していただきました。水文頻度解析には(財)国土技術研究センターで開発されたソフトウェアである水文統計ユーティリティを利用させていただきました。流出予測システムは椎葉充晴教授・市川 温助手(京都大学地球環境学堂)によって開発された計算機プログラム (<http://fmd.dpri.kyoto-u.ac.jp/flood/geohypos>) を利用し助言を得ました。また、科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業(CREST)(京都大学: 寶 馨代表)の補助を得ました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 市川 温・平野一志・椎葉充晴・寶 馨・立川康人(1999): 構造的モデル化法によるダムモデルの構築, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集, 第 2 部, pp. 592-593.
- 市川 温・村上将道・立川康人・椎葉充晴(2001): 流域地形の新たな数理表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発, 土木学会論文集, No. 691 / II-57, pp. 42-52.
- 笠崎伸一郎(2001): 水文統計ユーティリティの開発, http://www.apptec.co.jp/technical/pdf/treport_vol_12-08.pdf.
- 建設省近畿地方建設局(1974): 淀川百年史, 社団法人近畿建設協会.
- 佐山敬洋・立川康人・寶 馨(2004): ダム群流況制御を考慮した広域分布型流出予測システムの開発, 京都大学防災研究所年報, 第 47 号 B, pp. 211-226.

高棹琢馬・椎葉充晴・市川 温 (1995): 構造的モデリングシステムを用いた流出シミュレーション, 水工学論文集, 第 39 巻, pp. 141-146.

高棹琢馬・寶 馨・清水 章 (1986): 琵琶湖流域水文データの基礎的分析, 京都大学防災研究所年報, 第 29 号 B-2, pp. 157-171.

寶 馨 (1998): 水文頻度解析の進歩と将来展望, 水文・水資源学会誌, Vol. 11, No. 7, pp. 740-756.

立川康人・永谷 言・寶 馨 (2004): 飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 第 48 巻, pp. 7-12.

Analysis of dam effects on flood control in the Yodo River basin with a distributed rainfall-runoff prediction system

Takahiro SAYAMA, Hiroki KANNO*, Yasuto TACHIKAWA, and Kaoru TAKARA

*Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

The effects of dams on flood control were analyzed at several locations in the Yodo River basin using a distributed rainfall-runoff prediction system including dam operation models. Input rainfall distributions for the analysis were created by multiplying some factors to ten observed rainfall patterns to adjust them to be 50, 100, 150 and 200 year return periods in terms of two days rainfall in a catchment. The system simulates discharge with and without taking into account the effects of dams for the all created input rainfall. The comparisons of simulated peak discharges indicated that at Kamo, whose catchment contains Takayama dam at the middle reach, there is a certain range of natural peak flow that can be attenuated effectively to the allowable maximum discharge. On the other hand, at Noso, whose catchment contains Hiyoshi dam at the upper reach, peak discharge were attenuated relatively constantly regardless the natural peak flow.

Keywords :distributed rainfall-runoff model, Yodo River basin, dam, flood control effects